

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication :

(A n'utiliser que pour les
commandes de reproduction).

2 248 246

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 73 37326

(54) Bétons à haute résistance mécanique.

(51) Classification internationale (Int. Cl.²). C 04 B 15/08.

(22) Date de dépôt 19 octobre 1973, à 14 h 22 mn.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du
public de la demande B.O.P.I. — «Listes» n. 20 du 16-5-1975.

(71) Déposant : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE, résidant en France.

(72) Invention de : Pierre Mauny.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Société Brevatome.

La présente invention se rapporte à un procédé d'obtention de bétons à haute résistance mécanique et en particulier à haute résistance à la compression.

De nombreux travaux ont été faits en vue d'obtenir des 5 bétons à haute résistance mécanique et des essais menés en laboratoire ont permis, dès 1910, d'obtenir des résistances de 1000 bars mais les essais de laboratoires mettent en œuvre des opérations comme par exemple l'étuvage, la carbonatation sous pression, l'obstruction des pores par imprégnation, le compactage en pâte ferme, 10 l'utilisation de fibres, l'enrobage des granulats par des résines, qui sont trop compliquées pour être applicables sur les chantiers où seules les méthodes traditionnelles peuvent être appliquées et où l'on a pratiquement jamais pu obtenir de résistance supérieure à 500 bars, à 28 jours en essais normalisés.

15 Il ressort des études faites sur les bétons que leur résistance à la compression est fonction de quatre principaux facteurs liés à sa composition et qui sont les granulats, le ciment, l'adhérence granulat-ciment et la compacité. Ces quatre facteurs principaux sont sous la dépendance de nombreux paramètres tels que les 20 propriétés physiques et chimiques des composants, la quantité d'eau de gâchage.

Ces paramètres peuvent intervenir sur plusieurs des quatre facteurs principaux, par exemple la variation de la quantité d'eau de gâchage modifie le retrait du ciment, donc l'adhérence avec les 25 granulats, elle intervient aussi sur les conditions de la réaction chimique d'hydratation du ciment et sur la compacité du béton. En outre, ces paramètres ne sont pas indépendants : ainsi, la forme des granulats dépend de leur provenance suivant qu'ils sont concassés ou roulés, et pour les concassés, cette forme est en étroite 30 liaison avec leur résistance mécanique, leur module d'élasticité ainsi que leur nature minéralogique.

Il est impossible par conséquent de créer le meilleur béton en choisissant les conditions optimales, systématiquement pour chaque paramètre dont certains agissent de manière contradictoire. 35 C'est ainsi qu'une plus grande finesse du ciment améliore la résistance mécanique en pâte pure, mais elle augmente la quantité d'eau nécessaire au gâchage du béton, donc son retrait, l'adhérence et la

BAD ORIGINAL

compacité sont diminuées, et l'effet bénéfique du ciment est souvent masqué. En outre, si l'on essaie d'optimiser au maximum les paramètres afin de produire un béton ayant des caractéristiques mécaniques très élevées, on obtient un matériau inutilisable sur chantier en raison du fait que sa maniabilité est médiocre.

La confection d'un béton, même lorsque de bonnes résistances sont recherchées, reste donc un compromis entre différentes qualités, sa maniabilité, c'est-à-dire son aptitude à une mise en place avec faible serrage et sans ségrégation, restant un impératif catégorique.

On a maintenant découvert conformément à l'invention, que l'on peut accroître les résistances mécaniques des bétons en améliorant l'adhérence des granulats et du ciment dont ils sont constitués.

L'invention a pour objet un procédé de fabrication de bétons à haute résistance mécanique en compression, obtenu par mélange de gravillons à forte résistance à la compression, de sable et de ciment en milieu aqueux, caractérisé par le fait que l'on utilise des sables en céramique poreuse telle que la terre cuite, ayant une granulométrie comprise entre 0,1 et 5mm dont le diamètre des pores est compris entre 0,5 et 15 microns et choisi de façon à être légèrement supérieur à la grosseur des cristaux de ciment utilisé.

Le choix des céramiques utilisées est guidé par le fait que leur porosité peut être réglée à volonté en choisissant le mélange des composants, la température et l'atmosphère de cuisson. Les terres cuites que l'on utilise de préférence sont élaborées à partir de mélanges d'argiles kaoliniques, d'argiles illitiques et de marnes.

On précise que le rôle des pores est double :

- 1^o) améliorer l'adhérence par ancrage des cristaux de ciment hydratés.
- 2^o) constituer une réserve d'eau pour l'hydratation différée du ciment anhydre.

En ce qui concerne la première action, des études récentes montrent que l'hydroxyde de calcium est l'élément essentiel de l'adhérence ciment-granulat.

En effet, l'hydrolyse de l'alite et de la bélite conduit à la libération d'hydroxyde de calcium partiellement solubilisé. En

BAD ORIGINAL

raison de la mobilité des ions en solution, cette hydroxyde de calcium se disperse dans l'eau libre, c'est-à-dire à la surface des granulats (eau adsorbée) et dans les pores, où la solution devient rapidement sursaturée avec cristallisation de cet hydroxyde de calcium.

Il y a création d'un ancrage mécanique supérieur à celui obtenu avec les granulats actuellement utilisés, à condition que le diamètre des pores des granulats permette le développement des dits cristaux.

10 En ce qui concerne la deuxième action, il importe que le spectre porométrique des terres cuites utilisées soit parfaitement défini. Les pores trop gros sont inutiles, et les pores trop fins sont absolument à proscrire en raison de la loi de Jurin sur l'ascension capillaire, car ils ont tendance à déshydrater le ciment 15 au cours de son durcissement. Au contraire, si les pores de la terre cuite sont légèrement plus gros que ceux développés dans la pâte de ciment durci, il se produit une lente dessication de la terre cuite au profit du ciment et celui-ci accroît son durcissement dans le temps, même s'il est conservé en milieu sec.

20 Ce phénomène a pu être mis en évidence par des analyses thermogravimétriques effectuées sur des échantillons identiques, mais à différents âges de conservation en milieu confiné ; la quantité totale d'eau reste identique, mais l'eau chimiquement liée au ciment augmente avec l'âge au détriment de l'eau liée physique- 25 ment par capillarité.

En raison des caractéristiques propres de chaque ciment, il est nécessaire d'utiliser la matière poreuse qui lui est strictement adaptée, ainsi qu'il est montré dans les tableaux 1, 2 et 3 ci-après.

30 Il apparaît dans ces tableaux que le granulat A exige beaucoup d'eau pour la mise en oeuvre du mortier, ce qui s'explique par sa grande porosité. Les pores ouverts sont fins : 0,5 à 2 microns, et seul le CPA 400 HTS ($2990 \text{ cm}^2/\text{g}$) permet d'obtenir de grandes résistances en traction.

35 La composition B, à porosité plus faible, exige moins d'eau pour la réalisation d'un mortier à plasticité identique. Les pores ont un diamètre compris entre 1 et 15 microns et 60 % des pores

BAD ORIGINAL

ont un diamètre compris entre 5 et 10 microns. Cette composition B convient remarquablement aux ciments à mouture plus grossière comme le CPA 400 et le fondu (2420 cm²/g).

5 Pour la réalisation du mortier, le granulat C nécessite une quantité d'eau élevée, en rapport avec sa porosité. Les résistances intrinsèques de cette céramique sont élevées ; le spectre porométrique assez élargi convient à tous les ciments, sans vraiment offrir de propriétés exceptionnelles pour l'un d'eux.

10 La composition D exige une quantité d'eau modérée pour élaborer un mortier, ce qui une fois encore est en étroite liaison avec sa porosité ouverte totale. Les pores sont très fins : 0,05 à 0,75 micron, et il y a incompatibilité avec le ciment fondu. La lente décroissance dans le temps des résistances du mortier avec le ciment fondu, montre d'ailleurs qu'il y a dessication progressive du 15 ciment au profit du granulat.

Pour obtenir des bétons à haute résistance à la compression il n'est pas nécessaire d'utiliser exclusivement des granulats artificiels.

Il a été montré en effet, que si l'on dispose de granulats 20 naturels ayant une forte résistance intrinsèque à la compression, il suffit de leur associer un mortier (sable + ciment) ayant une bonne résistance en traction, en raison du développement de forces orthogonales à l'effort appliqué.

C'est alors qu'il est avantageux d'utiliser le mortier 25 (sable artificiel) + ciment puisque la bonne adhérence entre ces deux composants induit une bonne résistance en traction.

En raison des caractéristiques propres de chaque ciment, il est nécessaire d'utiliser la matière poreuse qui lui est strictement adaptée comme cela est montré dans les tableaux ci-après (granulats 30 A et B).

Un exemple de composition de béton préparé conformément à l'invention est donné ci-après.

Formule P pour 1 m³ de béton :

35	- Porphyre 13/18m/mm	:	510 kg
	Porphyre 8/12 "	:	495 kg
	Porphyre 5/10 "	:	275 kg
	Granulat artificiel 0,5 mm	:	440 kg
	Ciment CPA 400 HTS	:	400 kg
	Eau	:	220 litres

Les propriétés de ce béton au porphyre sont indiquées dans le tableau IV ci-après.

Dans les mêmes conditions de conservation que le béton au porphyre de formule P, un béton de type courant agréé pour les 5 ouvrages en béton précontraint atteint 450 bars au bout de 90 jours. Il ressort de l'examen du tableau IV que le gain sur la résistance en compression est donc proche de 100 %.

Ce type de béton conforme à l'invention peut parfaitement être mis en oeuvre sur les chantiers. Il peut conduire à un grand 10 allègement des structures précontraintes ou armées.

TABLEAU 1
CARACTÉRISTIQUES DE GRANULATS CÉRAMIQUES

Type du granulat				
	A	B	C	D
Porosité ouverte moyenne exprimée en poids d'eau absorbée	10 %	3,5 %	10,5 %	8 %
R _t (résistance à la traction) en bars \perp à la direction de filage	50,5	105,7	56,8	20,2
R _t , en bars // à la direction de filage	47,7	48,6	81,9	23,3
R _c (résistance en compression uniaxiale) en bars	1340	1450	2175	1360
Diamètre moyen des pores	10.442 Å	15.370 Å	9.315 Å	1.598 Å
Surface spécifique des pores ouverts	0,81 m ² /g	0,25 m ² /g	0,77 m ² /g	2,85 m ² /g
Répartition porométrique en microns	de 0,5 à 2	de 1 à 15	de 0,5 à 3,75	de 0,05 à 0,75
	dont 65 %	dont 60 %	dont 30 %	dont 30 %
	de 1 à 1,5	de 5 à 10	de 1 à 1,5	de 0,1 à 0,2

TABLEAU 2

FORMULE DES MORTIERS REALISES AVEC LES GRANULATS CERAMIQUES

(pour 1 dm³)

	Type de granulat			
	A	B	C	D
Granulat 0,2/5 mm	1150 g	1290 g	1010 g	1285 g
Ciment	500 g	500 g	500 g	500 g
Eau avec CPA 400	460 g	315 g	430 g	380 g
Eau avec CPA 400 HTS	480 g	315 g	430 g	400 g
Eau avec fondu (ciment alumineux)	460 g	305 g	380 g	370 g
Temps d'écoulement après mélange au Plasticimètre (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées)	1 mn 20 s.	1 mn 20 s.	1 mn 20 s.	1 mn 20 s.

PROPRIETES MECANIQUES DES MORTIERS REALISES AVEC LES
GRANULATS CERAMIQUES (en bars)
(Conservation en sac polyéthylène à 20°C)

TABLEAU 3

Type de granulat												
	A			B			C			D		
<u>Mortier au CPA 400</u>												
	R _t		R _c		R _t		R _c		R _t		R _c	
à 7 jours	54		250		72		287		60		257	
14 jours	67,5		584		77,5		363		69		326	
28 jours	65,5		348		89,5		477		75,5		397	
90 jours	74		462		100,5		536		77		468	
<u>Mortier au CPA 400 HTS</u>												
à 7 jours	81,5		392		54		231		51,5		209	
14 jours	83,5		473		68		326		63,5		267	
28 jours	95		619		79,5		333		70,5		333	
90 jours	103		575		92,5		533		67,5		451	
<u>Mortier au ciment fondu</u>												
à 7 jours	65,5		471		91,5		771		73,5		549	
14 jours	63		428		95,5		801		77,5		479	
28 jours	49		256		106,5		772		69,5		381	
90 jours	33,5		160		97,5		781		82,5		416	

R_t : résistance en traction/flexion

R_c : résistance à la compression

CPA 400 HTS : ciment portland artificiel à haute teneur en silice
résistance de 400 bars à 28 jours.

TABLEAU 4

PROPRIETES MECANIQUES DU BETON AU PORPHYRE DE FORMULE P

		7 jours	28 jours	90 jours	7 jours	28 jours	90 jours
Résistance à la rupture en compression exprimée en bars					Résistance à la rupture en traction exprimée en bars		
Essais effectués sur cylindres :					Essais brésiliens effectués sur cylindres :		
$\varnothing = 16 \text{ cm}$					$\varnothing = 16 \text{ cm}$		
$H = 32 \text{ cm}$					$H = 32 \text{ cm}$		
Conservation à 20°C		345	482	857,5	39	45,5	57,5
en sac PVC							
Conservation à 60°C		727	827	881,5	52	58,5	53,5
en étuve							

REVENDICATIONS

1. Procédé de fabrication de bétons à haute résistance mécanique en compression obtenu par mélange de gravillons à forte résistance à la compression, de sables et de ciment en milieux aqueux, caractérisé par le fait que l'on utilise des sables en céramique poreuse telle que la terre cuite, ayant une granulométrie comprise entre 0,1 et 5mm dont le diamètre des pores est compris entre 0,5 et 15 microns et choisi de façon à être légèrement supérieur à la grosseur des cristaux du ciment utilisé.

5 de bétons
2. Procédé de fabrication/selon la revendication 1, caractérisé par le fait que l'on utilise du ciment désigné sous le nom de CPA 400 HTS avec un sable dont le diamètre des pores est compris entre 0,5 et 2 microns et dont 65 % des pores ont un diamètre compris entre 1 et 1,5 micron.

de bétons

10 3. Procédé de fabrication/selon la revendication 1, caractérisé par le fait que l'on utilise du ciment désigné sous le nom de CPA 400 avec un sable dont le diamètre des pores est compris entre 1 et 15 microns et dont 60 % des pores ont un diamètre compris entre 5 et 10 microns.

15 4. Procédé de fabrication de bétons selon la revendication 1, caractérisé par le fait que l'on utilise du ciment fondu avec un sable dont le diamètre des pores est compris entre 1 et 15 microns et dont 60 % des pores ont un diamètre compris entre 5 et 10 microns.

20 5. Procédé de fabrication de bétons selon la revendication 1, caractérisé par le fait que les constituants des terres cuites utilisées pour réaliser le sable artificiel sont choisis parmi les argiles kaoliniques, les argiles illitiques et les marnes.

25 6. Procédé de fabrication de bétons selon la revendication 1, caractérisé par le fait que l'on utilise du sable artificiel de granulométrie comprise entre 0,1 et 5 mm et des gravillons de porphyre de granulométrie comprise entre 5 et 18 millimètres.

30 7. A titre de produits industriels nouveaux, les bétons obtenus par un procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes.

49791W7/30
COMMISS. ENERGIE ATOMIQUE
19.10.73-FR-037326 (20.06.75) CO4b-15/08
Concrete with very high compression strength - made using sand
consisting of porous neutral clay

COMS 19.10.73 L2-D2.
*FR 2248-246

11 55

The pores have a double role, (a) they act as an anchor for the hydrated cement crystals; (b) they provide reserves of water for delayed hydration of the anhydrous cement.

EXAMPLE

For 1 cubic metre of concrete, three lots of porphyritic gravel: 510 kg (13-18 mm. particles) 495 kg (8-12 mm. particles) and 275 kg (5-10 mm. particles) were mixed with 440 kg. artificial sand (0.5 mm.), 400 kg. cement CPA 400 HTS (RTM) (2990 cm²/g.) and 220 litres water. After hardening 90 days at 20°C. this concrete had a compression strength of 857.5 bars whereas a conventional type of concrete only had a strength of 450 bars after 90 days. It is important to match the size of the pores in the artificial sand to the dia. of the grains of the cement used. (11 pp.).

Concrete with high compression strength is obt. by mixing fine gravel possessing a high compression strength, sand, cement and water, together with a porous ceramic sand such as roasted clay having a grain size of 0.1-5 mm. and pores of 0.5-15 μ dia. which are larger than the size of the cement grains used. One pref. cement is CPA 400 HTS used with a sand having pores 0.5-2 μ dia. where 65% of the pores are 1-1.5 μ dia. Alternatively, cement CPA 400 is used with sand having pores 1-15 μ dia. where 60% are 5-10 μ dia. 'Ciment Fondu' (RTM) may also be used with sand having pores of 1-15 μ dia. where 60% are 5-10 μ . The roasted clays are prei, kaolinitic or illitic clays, or mafia. Artificial sand 0.1-5 mm. size may be used with porphyritic gravel, 5-18 mm. in size.

ADVANTAGE

Very high compression strength can be obt. and the process is easily carried out on a construction site. Due to the strength, the size of concrete structures can be reduced.

DETAILS

49791W